

LIST OF REFERENCE MATERIAL

1. JP, A, 11-501232 (US, P, 5,585,642)

Relevancy of the reference is mentioned in the description of the specification.

2. US, P, 5,895,926

The reference is continuation of application Pat. No. 5,585,642 (the reference No.1).

3. US, P, 4,870,287

The refference disclose a proton beam therapy system for selectively generating and transporting proton beams from a single proton source and accelerator to selected ones of a plurality of patient treatment stations.

4. US, P, 5,260,581

The refference disclose a method of treatment room selection verification in a beam therapy system. The method compares treatment room beam request signals with a beam path configuration signal from a switchyard which controls the path of beam travel from an accelerator to one of the treatment rooms.

5. JP, A, 2001-85200

The refference disclose an accelerator system including an ion source, pre-accelerators and a selector electromagnet for introducing the ion beam accelerated by the pre-accelerators into either the radioisotope producing unit or the synchrotron.

6. US, P, 6,580,084

The refference is an application claiming priority to JP, A, 2001-85200 (the reference No.5).

(19) 日本国特許庁 (JP) (12) 公表特許公報 (A) (11) 特許出願公表番号
特表平11-501232

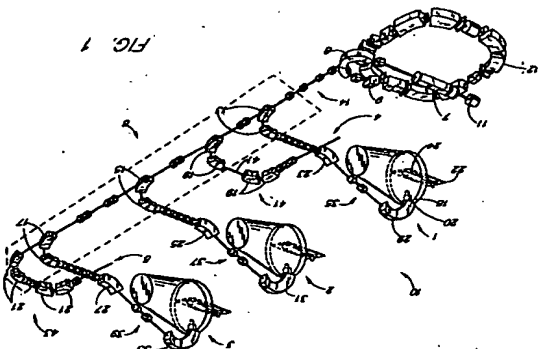
(49) 公表日 平成11年(1999)2月2日

(51)Int.Cl. ⁴ A 61 N 5/10		識別記号 P I A 61 N 5/10		H S	
		審査請求 有		予備審査請求 有 (全 49 頁)	
(21)出願番号 特願平8-525073 平成8年(1996)2月13日		(71)出願人 ロマ リンダ ユニヴァーシティ メディ カル センター アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92384 ロマ リンダ アンダーソン トリート 11234			
(86) (22)出願日 平成9年(1997)8月15日		(72)発明者 ブリントン バリー ジー アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92508 リバーサイド ロックレッジ ドライブ 5034			
(87)国際公開番号 PCT/US96/019600 平成9年(1997)8月15日		(74)代理人 弁理士 三枝 英二 (外2名)			
(88)国際公開番号 WO96/25201 平成8年(1996)8月22日					
(89)国際公開日 08/388,953 1995年2月15日					
(31)優先権主張番号 1995年2月15日					
(32)優先日 1995年2月15日					
(33)優先権主張国 米国 (US)					
(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M C, NL, PT, SE), JP, SG					

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射線治療装置のためのビーム経路コントロールおよびセキュリティシステム

(57) 【要約】
本発明は、放射線ビーム治療装置におけるビームパスセ
キュリティのための方法及び装置に関する。システム
は、放射線ビーム制御システムを監視及び制御して、放
射線照射事故につながる過剰パス状態及び多重パス状態
に対する保護を与える。本方法の一形態は、ビームパス
構成信号と、要求されたビーム構成に対応する信号とを
比較して、パスの構成をチェックし、パス構成が単一で
あることをチェックする。コントローラは、パス構成が単
一であることを確認する。コントローラの状態に適用される相補的ロジック
ビーム制御システムの状態に適用される相補的ロジック
通信バスを使用して行われる。オーバーヒート、過信
シグナラ、無断進入、多重パス状態のような可能性の
あるエラー状態のいずれか1つが検出されると、ビーム
パス電源はディスイエブルされ、放射線ビームが治療
室に送られることが回避される。



【特許請求の範囲】

1. 放射線源と、複数の放射線ビーム治療室と、放射線ビーム治療室の選択さ
れた1つに放射線源を向けるための多重化されたスイッチャード及びビーム伝送シ
ステムとを備えている放射線ビーム治療システムにおいて、
(a) 選択された治療室からビームリクエスト信号を受信するステップと；
(b) 該ビームリクエスト信号からビームパス構成信号を引き出すステップと；
(c) 該選択されたビームパス構成信号に従ってスイッチャード及びビーム伝送
システムの構成を選択するステップと；
(d) スwitchャード及びビーム伝送システムの構成を演出して、スイッチャー
ド及びビーム伝送システムの構成が放射線ビームを前記選択された治療室のみに
伝送されるようになっていることを確認するステップと；
(e) ステップ (d) に応じて放射線源を前記選択された治療室に送るステップと
を備えていることを特徴とする放射線ビームセキュリティ方法。
2. 前記ステップ (d) が、
(f) 前記演出ステップからスイッチャード及びビーム
伝送システム構成信号を引き出すステップと；
(g) スwitchャード及びビーム伝送システム構成信号と前記ビームパス構成信
号とを比較するステップと；
(h) スwitchャード及びビーム伝送システム構成信号中に選択されたビームパ
ス構成信号の各エレメントが含まれていることを確認するステップと、
(1) 前記選択されたビームパス構成信号中にスイッチャード及びビーム伝送シ
ステム構成信号の各エレメントが含まれていることを確認するステップとを備え
ていることを特徴とする請求項1記載の方法。
3. ステップ (d) の確認がない場合にはビームの伝送を拒否するステップを
更に備えていることを特徴とする請求項2記載の方法。
4. 前記スイッチャード及びビーム伝送システム内の電気負荷に耐える部分の
温度を検出してオーバーヒート状態を判別するステップを更に備えていることを
特徴とする請求項3記載の方法。

5. 前記ビーム伝送システム及びスイッチャード内の電気負荷に耐える部分に人間が接触している可能性を検

出するステップと；

人間が接触している可能性がある場合にはビームの伝送を拒否するステップとをさらに備えていることを特徴とする請求項4記載の方法。

6. 冗長通信バスによって検出された情報を伝送するステップを更に備えていることを特徴とする請求項5記載の方法。

7. 前記冗長通信バスは相補的ロジックであることを特徴とする請求項6記載の方法。

8. 前記相補的ロジック冗長通信バスを比較して通信リンク障害を判別するステップと；

通信リンク障害がある場合にはビームの伝送を拒否するステップとを更に備えていることを特徴とする請求項7記載の方法。

9. 前記選択されたビームバス構成信号を相補的ロジック冗長通信バスによって伝送するステップと；

前記スイッチャード及びビーム伝送システム構成信号を相補的ロジック冗長通信バスによって伝送するステップ

と；

それぞれの相補的ロジック冗長通信バスを比較して通信リンク障害を判別するステップと；

通信リンク障害がある場合にビームの伝送を拒否するステップとを更に備えていることを特徴とする請求項2記載の方法。

10. 前記相補的ロジック冗長通信バスのそれぞれにおいて、前記スイッチャード及びビーム伝送システム構成信号と前記選択されたビームバス構成信号とを比較してビームバスエラーを判別するステップと；

ビームバスエラーがある場合にはビームの伝送を拒否するステップとを更に備えていることを特徴とする請求項9記載の方法。

11. 放射線源と、複数の放射線ビーム治療室と、放射線ビーム治療室の選択された1つに放射線を向けるための多重化されたスイッチャード及びビーム伝送システムとを備えている放射線ビーム治療システムにおいて、

(a) 選択された治療室からビームリンクエラスト信号を受信する手段と；

(b) 該ビームリンクエラスト信号からビームバス構成信号

を引き出す手段と；

(c) 該選択されたビームバス構成信号に従ってスイッチャード及びビーム伝送

システム構成を選択する手段と；

(d) スイッチャード及びビーム伝送システムの構成を検出して、スイッチャード及びビーム伝送システムの構成が放射線ビームを前記選択された治療室のみに伝送するようになっていることを確認する手段と；

(e) 放射線を前記選択された治療室に送る手段とを備えていることを特徴とする放射線ビームセキュリティのための装置。

12. 放射線源と、複数の放射線ビーム治療室と、放射線ビーム治療室の選択された1つに放射線を向けるための多重化されたスイッチャード及びビーム伝送システムとを備えている放射線ビーム治療システムにおいて、

前記多重化されたスイッチャード及びビーム伝送システムのエレメントからなる複数のグループを備えており、各グループは他のグループとは異なる共通の機能特性を有しており、

共通の機能特性を有する前記グループのそれぞれを制御するための専用のコントロールを備えていることを特徴とする多重化されたスイッチャード及びビーム伝送シ

ステムを制御するための装置。

13. 前記グループの少なくとも1つはスイッチャード双極子マグネットアレイを備えており、該スイッチャード双極子マグネットアレイは、前記放射線ビーム処置室に対応する複数の放射線ビームバスの内の選択された1つに、陽子放射線ビームを向ける専用コントロールによって、制御されることを特徴とする請求

項12記載の装置。

14. 前記グループの少なくとも1つは一組の双極子マグネットを備えており、該双極子マグネットは、前記複数の放射線ビームパスのそれぞれに分配されており、前記複数の放射線ビームパスの内の選択された1つに陽子放射線ビームを向ける専用コントローラによって制御されることを特徴とする請求項13記載の装置。

【発明の詳細な説明】

放射線治療設備のためのビーム経路

コントロール及びセキュリティシステム

発明の技術分野

本発明は一般的に放射線治療設備のコントロール及びセキュリティシステムに関する。詳細には、本発明は、陽子治療設備用のビーム経路コントロール及びセキュリティシステムに関し、さらに患者、職員、及び装置に対する危険な状態を制御、検知、及び回避するためのシステムに関する。

発明の背景

今日の放射線治療は、 β 線、 γ 線、X線及び高エネルギー陽子のような数タイプの電離放射線を利用して、癌の広がりを防止及びコントロールするために悪性組織に照射されている。特に陽子ビーム治療は近年、治療技術及び設備における有効性に関して劇的に発展した。世界にある多くの陽子医療システムでは、陽子加速器は元々物理的調査のために建設され、後に一部臨床試験及び治療に適用されるようになった。しかし、陽子ビーム治療の目下の利点は専用の臨床的基礎設備の開発でよく認識

されている。そのような治療設備の1つとして、ロマリダ大学医療センター(Loma Linda University Medical Center)に設けられた設備は、多数の治療室に治療用の陽子ビームを送ることを目的として建設された。このようにすることによって、患者の処理量が増加し、高額の治療費を下げることができる。設備の概要及びその開発については、1992年発行のIntl. J. Radiation Oncology 第22巻第2章第383ページから第389ページにJ.M.Slater等が記載した"The Proton Treatment Center at Loma Linda University Medical Center: Rationale for and Description of its Development"に記載されているので、適宜参照されたい。陽子ビーム装置及び設備のより詳細な説明は、F.T.Cole等による米国特許第4,870,287号(発明の名称:"Multi-Station Proton Beam Therapy System")に記載されているので、適宜参照されたい。

陽子放射線ビーム経路は、ビームの偏向及びフォーカスのために大きな高電界

電磁石を使用して操作する。ロマリンドの設備では、陽子ビームは一連の陽子シンク・トロロンで生じ、ビーム経路によっていくつかのターゲットの内の任意の1つに伝送される。陽子放射線の照射からの保護を確保するため、ビーム経路マグネットをモニ

タ及びコントロールして、ビームが遠方方向に向いたタイミミングがずれたりすることを防止する必要がある。この目的のため、治療室選択の確認方法が採用されている。これにより選択された所望のパスの実行がビームの供給前に確認される。選択確認の方法は米国特許5,260,581号に十分開示されているのである。適宜参照されたい。このような方法においては、放射線の過剰照射からの保護が必要なのは明らかであるが、起こり得るすべての危険障害状態を検出するわけではない。このようなマグネット群にはメガワットクラスの電力が必要とされることが多く、職員の接触に対する安全のために適切なセーフガードがとられなければならない。設備職員に致命的な危険を与える。したがって、マグネットの配列を適切にしてタイミミングも適切にすることに加えて、機械的、電氣的及び温度的破壊に対して適切な観測が行われるべきである。部品の障害が発生すると、いわゆる“ビームダンプ”に向けられるべきである。これらの目標とする要求に適合させることは非常に重要な宿命であることは明らかである。

放射線治療のより広い関連において、治療のための必要な前提条件は開発的な放射線照射から患者及び職員を

保護することである。特に、陽子ビーム治療設備においては偶発的にビーム放射線又は伝送に曝されることは、患者及び職員の安全性に対する主な脅威となる。放射線の不注意の照射は例えば、ビームのターゲットミス又は放射線ビーム伝送の不適切なタイミミングによって起こることもある。それにも拘わらず、陽子ビーム治療のための要求が増し、治療設備がより複雑になるのである。例えば、ロマリンド大学医療センターでは、ビーム経路の安全性にコストがかかり、ビーム経路の安全性を確保する試みが非常に重要となっている。

発明の要旨

本発明に従った好ましい放射線治療設備は基本的には、放射線源と、複数の放射線ビーム処置室と、及び放射線ビーム処置室のうちの選択された1つに放射線ビームを向けるための複数のスイッチャード及びビーム伝送システムとを備えている。このような処置設備に存在する1つの問題は、パスの誤り又は複数のパスが作動することにより、偶発的に起こる放射線照射があり得ることである。従って、本発明の目的の1つは、偶発的な放射線照射、その他の危険状態から職員及び設備を保護することである。

本発明の1態様によれば、放射線ビームセキュリティ

方法は、選択された処置室からのビームリクエスト信号をまず受信する。ビームパス構成信号はビームリクエスト信号から引き出され、スイッチャード及びビーム伝送システムの構成を選択するために使用される。スイッチャード及びビーム伝送システムの構成は、スイッチャード及びビーム伝送システムの構成が選択された処置室への放射線ビーム伝送を可能とし且つ他の処置室へ伝送されないことを確認するために、センシングされる。正しいシステム構成が確認されると、選択された処置室へ放射線ビーム伝送が行われる。

利用できるビームパスが複数あるので、選択されたパスがアクティブであることをチェックする必要があるが、それのみならず、他のビームパスが同時にアクティブになっていないこともチェックするのが望ましい。本発明にかかる方法は、センシング処理からスイッチャード及びビーム伝送システム構成信号を引き出すことにより上記の確認を行っている。スイッチャード及びビーム伝送システム構成信号は選択されたビームパス構成を表す信号と比較される。この比較は、選択されたビームパス構成信号のすべてのエレメントがスイッチャード及びビーム伝送システム構成信号に含まれていることの確認が必然的に伴う。従って、選択されたパスがアクティブであ

ることが保証される。上記の比較はさらに、スイッチャード及びビーム伝送構成信号のすべてのエレメントが、選択されたビームパス構成信号に含まれているこ

との確認を必然的に伴う。従って、他のバスがアクティブになっていないことが保証される。

バス構成のセンシングに加えて、好ましいビーム経路コントロールセキュリティシステムは、感電、装置のオーバーヒート及び通信リンク障害のような危険な他の状況から職員及び装置を保護する。センシングは好ましくは、人間が電気負荷に耐える部分に接触している（感電死の危険がある）可能性を検出することも行う。さらに、センシングは、電気負荷に耐える部分によるオーバーヒートの検出も行うのが望ましい。情報と信号処理段階を感知するための冗長通信バスを設けることによって、通信障害は減少する。冗長通信バスが共通ロジックコンプリメントであるときには、これらのロジック比較が通信リンク障害を判別する方法となる。

本発明の他の形態によれば、放射線ビームセキュリティ用の装置は、ビームリクエスト番号を選択された処置室から受信する手段と、前記ビームリクエスト番号からビームバス構成信号を引き出す手段（例えば、デジタルシグナル通信ネットワークワークプロセッサ又はローカルデジ

タルプロセッサ）とを備えている。前記装置は、選択されたビームバス構成信号に基づいてスイッチャード及びビーム伝送システムの構成を選択するための手段も備えている。さらに、スイッチャード及びビーム伝送システムの構成を検出し、スイッチャード及びビーム伝送システム構成が放射線を選択された処置室にのみ伝送する構成であることを確認するための手段がある。最終的には、上記の確認に対応して放射線ビームを選択された処置室に供給するための手段がある。

本発明の他の形態によれば、多重化されたスイッチャード及びビーム伝送システムを制御するための装置は、多重化されたスイッチャード及びビーム伝送システムのエレメントを構成する複数のグループから構成され、各グループは他のグループとは異なる共通の機能特性を有している。装置はさらに、共通の機能特性を有する各グループ用の専用コントローラを備えている。好ましくは、各グループは、複数の放射線ビームバスのそれぞれへの放射線の伝送に関する共通の機能特性を有するエレメントで構成されている。さらに、好ましくは、各専用コント

ローラは選択されたビームバスのために、各機能エレメントをアクティブにするように作動する。

図面の簡単な説明

図1は、本発明が特に適する典型的な陽子ビーム治療設備の概略的斜視図である。

図2は、双極子スイッチャコントロールシステムの簡略化したブロック図である

図3A及び3Bは、スイッチャードマグネットコントロールドールシステムの機能的ブロック図である。

図4は、45°ガントリーマグネットコントロールドールシステムの機能的ブロック図である。

図5は、135°ガントリーマグネットコントロールドールシステムの機能的ブロック図である。

図6は、双極子スイッチャコントロールシステムの基本的フローチャートである

図7は、陽子ビームコントロールドールシステムの安全特性の簡略化したフローチャートである。

図8は、システムに使用されるコンプリメンタリ冗長ロジックの簡略化した概略図である。

図9は、コンプリメンタリ冗長オペティカルカブラの概略図である。

好適な実施形態の詳細な説明

一般的に、本発明にかかるビーム経路のコントロールドール及びセキュリティシステムは、放射線源と放射線を方向付けすることができる複数のビーム配置とを備えている

放射線治療設備に利用することができる。このような治療システムはCoil等による米国特許第4,870,287月に十分開示されている。ここでは図1を参照しつつ概略的に説明する。

図1に描かれているように、本発明を適用できる陽子ビーム治療システム10は、入射器9によって加速器12に供給された陽子源11を備えている。患者2、固定ビームステーション4、又はリサーチビームステーション5等に高エネルギー陽子を運ぶビームトランスポートシステム14に、陽子加速器12は接続されている。患者22は、複数の治療ステーションから選択された治療ステーション内で、一定方向に保持されている。それぞれの治療ステーション1、2、及び3において、ビームトランスポートシステム14はガントリー18を備えている。ガントリー18は回転軸周りに回転してビームを伝送することにより、陽子ビームを回転軸線上で受け取り、回転軸から離れたところに陽子ビームを伝送し、陽子ビームを回転軸線に垂直で且つ交差する軌道に方向付けすることができる。交差点は、テーブルのような患者支持台によって一定の方向に向けられて支持された患者22の内部にあるターゲット等角点24に設けられる。このような配置によりガントリーが回転すると、陽子ビ

ームは、患者の治療の間伝送システム20によって、幾分異なる角度でターゲット等角点24に運ばれる。

より詳細に説明すると、図示されている陽子ビーム治療システムの構成においては、慣用されている部品を利用し、組み合わせ、調整し、公知の荷電粒子ビームの伝送、加速、及び集中に関する技術に従って微調整され、加速システム及び入射システムについて所望のパラメータ、及び性能についての仕様、パラメータを達成している。例えば、米国特許第4,870,287号の付表I、付表II、表I-VIIIに挙げられたものを参照されたい。これらに挙げられているように、陽子源110は、40keVの陽子ビームを提供するデュオプラズマトロンイオン源とすることができる。ビームは、ビームを無線周波数4重極リニア加速器(Radio-frequency Quadrupole linear accelerator)(RQF)に合わせるためのソレノイドレズによって焦点に集められる。RQFは、180度ベンディングマグネット8及びその後の入射器9を通過できるように陽子を1.7MeVに加速する。入射器9は陽子ビームを加速器12に打ち込む。加速器12は、0.5秒以内に約250MeVにまでビームを加速できる陽子シンクロトロンである。従って、陽子シンクロト

ロンは1周あたり約90eVのエネルギーゲインを必要とする。ビームは、水平半
共

噴出射又は“投射(spill)”によって、シンクロトロンから徐々に取り出される。これによって、陽子ビームがビームトランスポート装置へ投射される。シンクロトロンの詳細及びその操作は米国特許第4,870,287号により詳しく開示されている。

図示されているビームトランスポートシステム14は5つのスイッチングマグネットからなるスイッチャード6も備えている。それぞれのスイッチングマグネットには2つの状態があり、オペレータの操作によって2つの状態の間を電氣的にスイッチングすることができる。例えば、第1の状態では、スイッチングマグネット13は加速器12から陽子ビームを受け取り、陽子ビームを曲げて後方のマグネットと治療ステーション1のガントリー18に設けられたビームオブティクス(beam optics)とに伝送する。第2の状態ではスイッチングマグネット13は陽子ビームを通過させてスイッチングマグネット19に送り、スイッチングマグネット19が第1の状態であれば陽子ビームを曲げて定常ビーム治療ステーション内のコンバーネントに陽子ビームを伝送する。スイッチングマグネット19も第2の状態であれば、スイッチングマグネット19は陽子ビームをスイッチングマグネット15に通す。スイッチングマグネット13と同様に、

スイッチングマグネット15も第1の状態にあるときには陽子ビームを曲げて治療ステーション2のガントリー18に関連するマグネット及びビームオブティクスに陽子ビームを伝送する。スイッチングマグネット15は第2の状態にあるときには陽子ビームを通過させてスイッチングマグネット17に送り、スイッチングマグネット17が第1の状態であれば陽子ビームを曲げて治療ステーション3のガントリー18に関連するマグネット及びビームオブティクスに陽子ビームを伝送する。スイッチングマグネット17が第2の状態であれば、スイッチングマグネット17は陽子ビームを通過させ、陽子ビームを曲げてリサーチステーション5に向けたためのマグネット21に陽子ビームを伝送する。

上述のように、ビームトランスポートシステム14は、スイッチャード6と、治療ステーション1から3及びステーション4、5につながるビームトランスポート装置とを備えている。図1に示されているように、スイッチャード6は、スイッチマグネット13、15、17、19、21及び中間4重極マグネットを備えている。ビームは加速器12を通過すると4つの4重極を通過してスイッチングマグネット13に向けられる。スイッチングマグネット13の最終的な機能については上述の通りである。

る。すべてのスイッチングマグネット実質的には同じ構造であり、その機能及び制御も実質的には同じものである。従って、スイッチングマグネット13についてのより詳細に説明する。スイッチングマグネット13はSV45マグネットとも呼ばれる45°ベンディングマグネットを適用できる。SV45マグネットは、一定の運動量（エネルギー）を持つ陽子のビームを45°曲げる電磁石として構成されている。マグネットのコイル電流は陽子の運動量に対応して必要とされる電流に正確に制御される。マグネットにあまりエネルギーが供給されていない時には陽子はマグネットのヨークに設けられたホールを通過して後段の通電されたSV45に向けて直進する。マグネットの制御は(i)直流電源をオンにすると共にデジタル化された電流を伝送する接触器を電源に取り付けて規定電流に調節できる電源を必要とするか、(ii)接触器を開いて電源をオフにすることのいずれかによって達成される。制御は、制御コンピュータが電源インターフェイスにデジタルコマンドを出力することから始まる（これについては後述する。）。SV45マグネット13、15、17、19、21の構造、機能、及び制御は実質的には同じである。ここで開示されているように、信号パワーユニットは好ましくは、SV45マグネットの間でビーム形成リク

エスト信号に対応してスイッチングされる。

45°ガントリベンディングマグネット23、25、及び27は、治療ステーション1、2、及び3にそれぞれ設けられているガントリ18の遠位端側のビームパス上に配置されている。45°ガントリベンディングマグネット23

、25、及び27はエネルギーが供給された時に陽子ビームを45°曲げるように設計されている。G45とも呼ばれるガントリマグネット23、25、及び27は、実質的に同じ構造であり、機能及び制御も実質的には同じである。これらは好ましくは信号パワーユニットによって制御される。電力はG45マグネット間でビームリクエスト信号に対応してスイッチングされる。

図1から明らかなように、G45マグネット23、25、27の各々は各治療ステーションのガントリ18の付近に設けられたバス35、37、及び39に沿うように陽子ビームを偏向させる。ビームバス35、37、及び39は、それぞれ135°ガントリベンディングマグネット29、31、及び33（G135マグネットとも呼ぶ）に陽子ビームを伝送する。G135マグネットは、陽子ビームを135°で偏向し、ガントリ18に設けられたビームデリバリシステム20にビームを伝送する。G135マグネット29、31、及び33の構造、機能、及び制御

は実質的には同じである。これらは好ましくはビーム形成信号に対応してG135マグネットの間でスイッチングされる1つの電源によって給電される。

以下の説明は双極子スイッチ制御システムの基本的設計概念及び役割が暗示されている。さらに所定の性能を得るための好ましい仕様と一般的必要条件も開示されている。

A. 基本的制御構造

陽子ビームの偏向及び制御システムを構成する電磁石アレイは図2に示されているような構成で制御される。一般的に、スイッチャード及び偏向マグネットの配列は制御システムに多重化される。マグネットの制御は様々なビームパスに対応した機能、制御、及び位置に従って分類される。この形式でビーム経路マグネットを多重化することは単純で費用に対して効率がよく、しかも安全にビームの形成及び制御を行うことができる。図2に示されているように、陽子ビーム制御システムは本質的には双極子スイッチコントローラ(Dipole Switch Controller)(DSC)60に接続された制御用コンピュータ52を備えている。DSC60はモニタシステム及び制御システムの中央部として機能する。DSC60は双極子スイッチ及び電源のインターフェイスA54、B56、及びC58に接続さ

れている。インターフェイスA54は電源A62に接続されており、電源A62は双極子スイッチA72によってスイッチングされる出力部を備えている。双極子スイッチは一般的にできるだけ多くの接続に高電流信号を割り当てることができる多極スイッチである。双極子スイッチは、例えば、高電流の入力を複数の出力接続部のいずれか1つに割り当てる複数のシリコン制御整流器(SCR)で構成することができる。同様に、インターフェイスB56は電源B64及び双極子スイッチB74に接続されており、インターフェイスC58は双極子スイッチC76に接続された電源C66に接続されている。電源62、64及び66と、対応する各双極子スイッチ72、74及び76は所定の形式及び機能のマグネットが同一の電源によって別々に給電されるようにビーム経路マグネットアレイを制御する構成とされる。例えば、電源A62は、双極子スイッチA72の選択によりスイッチャードマグネット13、15、17、19、及び21のうちの任意の1つにエネルギーを供給するように構成されている。同様に、電源B64は、双極子スイッチB74の選択により45°ガントリーマグネット23、25、及び27のうちの任意の1つにエネルギーを供給するように構成されている。さらに、135°ガントリーマグネット29、31、及び

33は電源C66及び双極子スイッチC76によって給電及び制御される。

ビームリクエストは制御コンピュータ52によって与えられ、インターフェイス51を介して双極子スイッチコントローラに伝送される。双極子スイッチコントローラ60は、ビームリクエストアドレスを、選択された双極子スイッチの位置を示すデジタルコマンド信号にエンコードする。スイッチ命令はインターフェイス54、56及び58を介して伝送される。指示は電源及びスイッチの両方に伝えられ、スイッチは予め選択された方向に接続され、各電源はイネーブルされる。

前述の形式におけるビーム経路マグネットの方向及び操作は有益である。なぜなら、各々の陽子ビームに対して実質的に同じ働きをするビーム経路マグネットには実質的に同じ操作状況が要求されることが多いからである。例えば、一般的に45°スイッチャードマグネットは、同様な操作電力を必要とする。従って、

電源52は45°スイッチャードマグネットのうちの任意の1つに給電する。同様に、電源64は45°ガントリーマグネットの内の任意の1つに給電し、電源66は135°ガントリーマグネットの内の任意の1つに給電する。構成を多重化することにより、治療設備に必要とされる非常

に高価な電源の数を減らすことができる。第2に、上述の多重化構成によればモニタ及び制御に必要とされる部品の数を減らすことができる。これによると、パス1から5(35から42)は様々なスイッチ位置にデコードされ、双極子スイッチ72、74、及び76に対する所望のスイッチ位置を同時に選択することによってパスが選択される。例えば、パス35は、マグネットA(13)、B(23)、及びC(29)を組み合わせるように、双極子スイッチ72、74、及び76に対するスイッチ位置を選択することにより選択することができる。双極子スイッチは大電流をスイッチング及び維持できるようにされる。これらは、好ましくはシリコン制御整流器(SCR)で構成される。SCRの構成及び動作は大電力機器の分野ではよく知られている。

B. コントロールシステムの機能的概要

双極子スイッチコントロールシステムは、ユーザー又はコンピュータ制御監視台からの陽子ビーム操縦コマンドを機械語に翻訳してシリコン整流器(SCR)に伝送する。SCRは、種々のマグネット用電源から種々の双極子マグネットへ電流を流すことによって、ビームを複数の伝送可能領域のうちのいずれか1つに向ける。双極子スイッチコントロールシステムを設計する際にまず考慮すべきこ

とは安全性である。一番優先すべきことは治療エリアの中及びその周囲における職員の保護であり、第2に優先することは設備自体を不適切な操作状況又は破壊的操作状況から保護することである。この開示により明らかにするように、これらの優先事項は、予想される多くの危険に対して十分な安全性を提供するシステム及び関連するハードウェアによって達成される。従って、図2に関して説明したように設定されたパスを選択することに加えて、センサー及び動作のネットワークが部品及びシステムの障害を検知するために機能する。双極子マグネット、

双極子スイッチ、電源、及び通信線に関するすべての状態情報は、図2の両方向矢印で概略的に描かれているように、通信線53、55、57によって双極子スイッチコントローラ(DSC60)に伝送される。

図3から図5により詳細に示されているように、双極子スイッチコントローラシステムの本実施形態は、システムに起こりうるあらゆるエラーを検知できるように設計されたシステム監視ネットワークを構成している。このようなエラーが発生すると、双極子スイッチコントローラシステムはマグネット用電源をディスプレイし、ビーム経路部品に障害が発生したときに、陽子ビームが伝送されることを防止する。スイッチャードマグネット

の制御に関する機能的部分を説明する図3Aから説明すると、システムの中央部は、図2に関してすでに説明したように、システムコンピュータ52、DSC60、電源62、及び双極子スイッチ72を備えている。DSC60及びコンピュータ52の間の2方向通信リンク61は、バス選択信号、状態信号及び非常シャットダウン信号のような信号を通す。制御コンピュータ52はDSC60及び選択確認ボード(SVB)70との通信のために両者に接続されている。選択確認ボード(SVB)70については、米国特許第5,260,581号に開示されており、ここでは適宜参照する。DSC60は通信線71を介して双極子スイッチの状態情報をSVB70に供給し、今度はSVB70がスイッチの状態情報の解析に基づいてセーフティインターロック信号を提供する。DSC60とビーム経路部品との間の基本的な通信は双極子スイッチインターフェース54及び電源コントローラインターフェース59を介して行われる。図3Aにより詳細に示されているように、図2の2方向通信リンク53は、DSC60と、双極子スイッチインターフェース54、電源コントローラインターフェース59、双極子スイッチ72、及び双極子マグネットのそれぞれとの間で通信される信号で構成される。前述のように、DSC60はビームバス形成信号を双極子スイッチ

インターフェース54に伝送する。本実施形態では、ビームリクエスト信号80は、例えば、ビームバスアドレス信号、アドレスパリティ信号、バスイネーブル

信号又はストローブ信号により構成される。双極子スイッチの状態は双極子スイッチ72ないの各SCR(図示せず)に配置された電流、電圧モニタによってモニタされる。これらの電流及び電圧は、それぞれSCRの電流、電圧を示す信号83及び84としてDSC60に供給される。SCRは、好ましくは、オーバーヒートの可能性を示す信号88をDSC60に出力する温度センサを備えている。DSCは、好ましくは、通信中に起こり得るエラー状態を示すバス選択エラー信号及びパリティエラー信号をも受信する。

バスの選択過程及び状態を示す信号に関して、DSC60は通信リンク90を介して、電源コントローラインターフェース59に電源をディスプレイ又はエネルギー供給するために信号を与える。バスの選択が(DSCによって)実行され、(SVBによって)確認されると、出力イネーブル信号がインターフェース59に伝送される。多くの障害状況の内のいずれか1つが検出されると、インターロック信号が伝送され、電源がディスプレイされる。電源コントロールインターフェース59は通信リンク90を介して現在電力を供給していることをSDCに示す出力状

態信号を戻す。非常事態には、3つの電源すべてをディスプレイするシャットトリップ信号によってシャットダウンが実行される。さらに、DSCは電源接触器信号及びゲート信号からなる状態信号を電源から受け取る。

図2に関してすでに説明したように、双極子スイッチ72はSCR配列によって構成されている。図3Aに示されているように、SCRスイッチは、電源62によって供給された電力を、太線101、102、103、104及び105で示された複数のバス電流バスの内のいずれか1つに流す。バス電流バス101、102、103、104、及び105は図3B上に示されているマグネットに繋がっている。従って、電源からの電流はバス1から5のいずれかに流され、バスのそれぞれが図3Bに示されている各双極子マグネットに繋がっている。マグネットは共通のリターンバス100を共有している。電流バス100から105はスイッチャードマグネットのいずれか1つに必要とされるエネルギーの電流を運ぶ。バス100から105は高電流をマグネットに流すので、オーバーヒートの可能

性が問題となり、そのため、図3Aに示されているバス温度センサ106が設けられる。温度情報は、DSCブレイクアウト78によってDSC60のエラー検出回路にバス温度信号として供給される。双極子マ

グネットもそれぞれ温度センサを備えており、図3Bでは温度センサ107、108、109、110、及び111で示されている。マグネット温度情報はマグネット温度信号としてDSCブレイクアウト78に供給される。起こり得るオーバーヒートに対する別の保護として、電流の流れているマグネットに対する冷却剤の流量を感知する冷却流量モニタを備えていてもよい。冷却流量モニタの信号は流量センサ信号としてDSC60に供給される。また、操作時には、職員はスイッチャードマグネットエリアのような潜在的に危険なエリアへの進入を禁止される。このようなエリアへの無断進入はドアイントラック95で感知され、ドアイントラック95はDSC60に供給される信号を出力する。バス温度、マグネット温度及び流量センサ情報はDSCブレイクアウトPCB78として言及したDSCの一部に供給される。DSCブレイクアウトPCB78からのコマンドはリンク97を介してDSC60の主要部に供給され、バス温度、マグネット温度、流量センサ、及び無断進入情報を含む多くの障害状況のいずれか1つを報告する。これらのエラーに対応して、DSC60は電源をディスエーブルするインターロック信号を電源インターフェイス59に送る。

図3A及び図3Bと実質的に類似しているが、図4は

双極子スイッチコントローラ60と、バス1から3に繋がる45°ガントリーマグネットの制御に関する部品との間の関係を示す機能ブロック図である。図3A及び図3Bに示された45°スイッチャードマグネットのための状態及び制御システムと同様に、45°ガントリーマグネットは双極子スイッチコントローラ60によって制御及びモニタされる。操作時には、双極子スイッチコントローラ60はアドレス信号、パリティ信号及びイーネーブル信号をスイッチインターフェイスに供給し、スイッチインターフェイスは電力を電源64から適切なバスバス13、114、又は115に供給するように双極子スイッチに指示する。双極子

スイッチ74のSCRは、電流信号83及び電圧信号84によってモニタされる。電源64は上述のように電流バスの実行が確認され次第イーネーブルされる。温度エラー、通信エラー又はバス選択エラーが発生すると、電源64をディスエーブルするインターロック信号が電源インターフェイス68から送られる。

図4に概略的に描かれた機能的部品及び関係と同様に、図5は135°ガントリーマグネットコントローラ及びモニタシステムに関する類似部品を示している。DSC60は双極子スイッチインターフェイス58及び電源インタ

ーフェイス68の両者との通信のためにこれらに接続されている。スイッチインターフェイス及び電源インターフェイス68はそれぞれ双極子スイッチ76及び電源66と通信する。双極子スイッチ76は、電流バス121、122、及び123を介して、電力を電源66から複数の135°ガントリーマグネットの内の任意の1つに送るように接続されている。135°ガントリーマグネットは共通のリターンバス124を共有している。温度センサ125は電流バス121から124のそれぞれに接続されている。さらに、マグネット温度センサ126は135°ガントリーマグネット29、31、及び33に接続されている。

図5に示されているシステムの操作は図3及び図4に示されているシステムの操作と類似している。スイッチインターフェイス58はDSC60からバスアドレス信号とバス選択信号を受け取ってデコードし、さらにその情報を双極子スイッチ76に伝える。選択された双極子スイッチ位置に対応するバス選択が確認されると、電源イーネーブル信号が電源66に供給される。DSC60に与えられる状態信号は、双極子スイッチ、電流バス、及びマグネットからの温度センサ信号と、ある種の検出回路及び相關的冗長ロジックチェック（後述する）からの通信エラ

ー信号とを含む。スイッチの状態は、双極子スイッチの各SCRに関する電流及び電圧情報を伝える双極子スイッチセンサ信号83及び84によって伝えられる。温度センサ信号とその他のエラー感知信号は、DSCブレイクアウトPCB78を介してDSC60に供給される。信号の内のいずれか1つがアクティブになると、DSCはセーフティインターロック信号を通じてシステムの一部又は全部のシャットダウ

ンを開始する。

好適なビーム経路コントロールシステムの基本的な実施形態の簡単なフローチャートが図6に示されている。リモート又はローカルプロセスコントロール130により、ユーザーはバスリクエストアクション132を行う。バスリクエストアクション132は、図2、3、4及び5に関して示したように、エンコードされたバスアドレス信号及びバスリクエスト信号をDS060に伝送することにより行う。バスリクエスト信号はDS060に受け取られ、処理ブロック134で、ビームバス0から5に対応する個々のスイッチ位置のアドレスにデコードされる。バス0はヌルバスを示し、バス1から5は図1に関してすでに概略的に示されたバスに対応している。DS060に受信されデコードされたバスリクエスト信号は、判別ブロック136で示すようにエラー及び状態のチェックを開始する。エラー状況がある場合には、バスリクエストはバスリクエスト拒否ブロック138に行きすべてのスイッチをそのままにして処理ブロック140の状態チェックを行う。システム状態及びエラー状況がユーザーに届き、これによって、処理ブロック142及び144で示される適切なアクション及びリセット機能が実行される。エラー状況から復帰して双極子スイッチコントロールがリセットされると、ユーザーは上述のようなバスリクエストを再び自由に出すことができるようになる。状態のチェック及びエラーのブロック136に戻って、もしエラーがない場合には、バスリクエストはバス選択処理ブロック146に進み、適切な双極子スイッチの配置が各双極子スイッチインターフェイス及び誤り／マルチバスエラー検出器162に送られる。スイッチが選択されると、双極子スイッチのSCRから出たスイッチ状態情報が誤り／マルチバス検出器162に送られる。バスエラーが検出されない場合には、電力を双極子マグネットに送ることを許可するコマンドが電力カインープル／ディスプレイ処理に送られる。これは電源150から双極子スイッチ148を介して双極子マグネット152に延びる太い矢印で示されている。バスエラーが検出された場合には、信号は電力カインープル機能166を除去して

マグネットがパワーアップすることを防ぐエラー判別器164に送られる。マルチバス及び誤りバスの検出に加えて、他のセーフガードとしてビット状態モニタリングがある。セーフティインターロックは後段のガントリエリアのいずれかに進入するとトリガされる。無断進入状態が検出されると、信号がエラー及び状態判別器164に伝送され、これが非常電源シャットダウン機能166をトリガし、これによって、適切なマグネット電力供給が禁止される。さらに、上述のように双極子マグネット電流バスの位置及び双極子スイッチに設けられた温度センサ156はオーバーヒート検出器に情報を供給する。もしオーバーヒート状態になると、電源インネープル機能166がはずされる。さらに、通信インターフェイスエラー及びパラレル相補リンク障害がバスアドレスとアドレスパリティとを比較することによってモニタリングされている。エラーがある場合には、以後のバス選択は中止される。選択エラー状況ではさらに、適切な電力供給もディスプレイされる。

C. 身体保護の必要性

典型的な陽子ビーム治療設備の操作中においては、人体に対する2つの脅威が存在すると考えられている。1つ目はターゲットミス又はタイミングミスで伝送された

ビームによる陽子照射であり、2つ目は潜在的に危険な電位と個々接触することによる感電死である。

本発明の双極子スイッチコントロールシステムは誤った又は複数のビームバスがアクティブになることに対するセーフガードを提供する。複数のバス又は間違ったバスがアクティブになるのを防止するため、双極子スイッチ72、74、76に設けられている各SCRには別々に電流及び電圧センサが取り付けられている。電流及び電圧センサは、双極子スイッチコントロールシステムの各SCRの状態を決定するために使用される。SCRスイッチの特性が、電気ノイズ又は疑似バスのことによって誤ってオン状態になったり、予期せずにオンになったりするかもしれない。このようなことはビームが誤ったバス又は複数のバスに伝送されることに繋がる。双極子スイッチコントロールシステムの好ましい実施形態は、図7A及

び7Bの簡略化したフローダイアグラムに示されているように、双極子スイッチの選定された状態と、選択バスに対応する双極子スイッチの状態とを連続的に比較することによって、誤ったバス及び極数のバスがアクティブになることを防止している。まず、図7Aを参照して、バス選択及び確認の処理がバスリクエスト170により始まる。典型的には治療室の1つにいるオペレータによってコンピュータ制御のもとに開始される。バスリクエストは図7Aの処理ブロック172で示されるように各双極子スイッチの状態に対応する一組のデジタル信号にデコードされる。第1の判別処理ブロック174では、さらに現在のバスがアクティブかどうかとも考慮してバスリクエストの拒否が決定される。もしバスが電流的にアクティブであれば、ブロック180で示されているように、バスリクエストは拒否され、処理制御は処理ブロック182で示されている停止／リセットルーチンに進む。どのバスも電流的にアクティブでない場合には、職員及び患者に危険な種々の障害状況に応じて、判別ブロック176でバスリクエストの拒否が決定される。判別ブロック176で例えば、致死的な電力が使用されているエリアへ無許可の進入があった場合には、ブロック178で示されているようにバス障害状況となる。ブロック178で示されるように、設備のユーザーはロックアウト又は特定のバスが選択されないようにすることができ、もし障害状況がある と決定された場合には、バスリクエストは拒否され、処理は上述のように停止／リセットルーチンへ進む。障害がなかったときには、処理ブロック184で示されているようにバスが選択される。選択は例えば、適切な電気信号を各双極子スイッチに送ることにより

行われる。バス選択情報はシステムでのモニタリング用としてブロック173で示されている状態バッファにも送られ、治療中における他のバスリクエストを阻止する。

上述のSCR電流電圧センサは各SCRの状態をモニタする。センサからの情報は処理ブロック186で表現され、スイッチ状態バッファ188に進み、電流I及び電圧Vの両方の情報を示す。双極子スイッチの各SCRの電流及び電圧状態は、処

理ブロック173でロジックとしてのANDがとられて、どのスイッチがアクティブなのかが決定される。処理ブロック273からの情報はどのSCRスイッチがアクティブなのかを示し、正しいバスの決定用として後段に進む。同様に、各SCRの電流及び電圧状態は、処理ブロック171に示されているように、ロジックとしてのORがとられてどのSCRが導通しているのかを決定する。この情報は誤ったバス又は極数のバス状態を決定するために使用される。図7Bを参照して、処理ブロック171によって判別された導通状態のSCR配列は処理ブロック175で所望のバスと比較され、正しいバスのみがアクティブでありその他のバスはアクティブになっていないことが確認される。処理ブロック173で示されたアクティブ状態のSCRは処理ブロック177で所望のバスと比較され、陽子の流れが許可される前に必要なマグネ

ットのすべてに給電されていることが確認される。後者の操作は、選択確認の方法として言及される。この選択確認は本実施形態においては、双極子スイッチコントローラとの通信を維持したままで実行される。ここで開示されている双極子スイッチコントロールシステムは、米国特許第5,260,581号(適宜参照されたい。)に開示されている選択確認処理の動作と相補的な動作を行うことを認識されたい。特に、選択及び確認の方法は、陽子の伝送がイネーブルされる前に所望のビーム配置が満たされるということを保証する。換言すれば、この好適なスイッチコントロールシステムはスイッチ状態の操作を行って、所望のスイッチ以外のスイッチがアクティブにならないことを保証する。さらに、ここに開示された双極子スイッチコントロールシステムは、誤り若しくは多重エラーが発生したときに双極子マグネット電源のようなビーム伝送部品が給電することをディスエーブルする。従って、この好適な実施形態は選択確認処理と相俟って所望のバスが選択されしかも所望のバスのみが選択されることを保証するように動作する。

処理ブロック175及び174からの情報は、それぞれ判別ブロック183及び181を通る。判別ブロック183では、多重バスのチェックが行われる。バス障害

が検出されないときは、イネーブル信号は処理ブロック185に進む。同様に、判別ブロック181では正しいバスのチェックが行われ、対応するイネーブル信号は処理ブロック185に送られる。処理ブロック185は、AND論理で構成され、正しいバスが選択され且つ多重バスがない場合に、ビームイネーブル信号がアクティブになる。ビームイネーブル信号は判別ブロック187に進む。判別ブロック187は、障害判別処理で構成される。判別ブロック187で障害が検出されなければ、処理ブロック189で端子ビームはイネーブルされる。一方、種々の障害状態の内のいずれかがある場合、例えば、誤ったバス若しくは複数のバスの選択、スイッチ温度192、マグネット温度194、ビット進入196、又はインターフェイスエラー198がある場合には、処理ブロック190に示されているように、端子ビームリクエスとは拒否される。

SCRは電流が流れる限りラッチされたオン状態を維持する特性を有するので、DSQは先の選択バスに電流が流れていると判別される限り、バス選択を許可しない。好ましくは、判別のしきい値よりも低い残留電流を零に落とすことができるように、タイムディレイ回路を設ける。ディレイタイムは、典型的には約8秒である。すべての電

流及び電圧センサがオフとなり、電源からのすべての出力信号がオフになるまでは開始しない。

各ビームバス及び治療エリアには1又は2以上の非常シャットダウン"マッシュルーム"スイッチが設けられている。これらのスイッチはいずれも機械的及び電気的にラッチされる。スイッチの作動により、障害が除去されるまでバスが選択されないようになっている。シャットダウンが要求されたときにバスがアクティブであるときは、バスの供給をオフラインにするために、電源インターロック障害が確認される。障害はスイッチが機械的に復帰するまで、若しくはラッチがコンピュータ又はローカルセットによりクリアされるまでラッチされる。ビーム伝送システムのある部分のテスト又はメンテナンスを可能にするため、各バスにはマニュアルロックアウトスイッチが設けられている。このスイッチを操作することにより、スイッチをノーマルポジションに戻すまでローカルスイッチ及び

リモートスイッチの両方を殺すことができる。問題となっているバスだけがディスエーブルされ、他のバスは使用できる。

高電力装置との間接的接触を防止するために、双極子スイッチは電源の覆いの内部に配置され、供給アクセスインターロックシステムから保護される。ビット安全弁

可を転送するとそのビットに関連するガントリーバスは選択されない。障害はリモートリセット又はローカルセットにより許可が復帰し且つラッチがクリアされるまで、ラッチされる。

D. 設障保護の必要性

双極子スイッチ及び双極子マグネットの主な脅威は、過電流又は冷却不良によって生じる過度の熱であると考えられる。本実施形態では、双極子スイッチ内には、スイッチ72に5つ、スイッチ74及び76のそれぞれに3つずつで計11個のSCRがある。各SCRには1又は2以上の温度感知スイッチ、好ましくはクリクソン (商標) タイプ (Mikion type) の温度感知スイッチが取り付けられている。

それぞれの双極子スイッチ内のクリクソンは好ましくは直列に結線され、SCRがオーバーヒートするとスイッチがオフになるが、他の2つのスイッチはオフにならない。クリクソンは好ましくはDSQから光学的に隔離されている。任意の双極子スイッチ温度センサの作動によりすべての双極子スイッチ及び電源がオフになるが、他のスイッチに接続された部分のバスはそのままであり、オフになったスイッチに関連するバス以外のバスはディスエーブルされない。温度障害は、SCRが冷却されリセット信号によってラッチがクリアされるまで、ラッチされる。

る。

双極子マグネットの熱損傷を防止するために、ビーム伝送システムの各双極子マグネットには、1又は2以上のクリクソンスイッチが取り付けられている。マグネットクリクソンはバス及び双極子スイッチに応じて2通りに分類される。スイッチ72上のバス1 (ガントリー1) の2つの45° マグネットのためのクリクソンは直列に結線され、スイッチ74上のバス1の2つの45° マグネットも

同様に結線され、スイッチ76のマグネットも同様に結線される。温度スイッチのいずれかが開くと、そのマグネットに開連する電源及び双極子スイッチのみがディスエーブルされ、他はそのままにされる。従って、そのバス上の他のマグネット（もしあれば）は作動し続ける。固定ビーム専用バス（バス4）及び確定管用バス（バス5）のみが、マグネットクリクソンの作動によって全面的にディスエーブルされる。これらのバスのすべてのマグネットは、スイッチ72及び電源62によって給電されるからである。クリクソンは好ましくはDSC60から光学的に隔離される。双極子マグネット温度センサが作動すると、マグネットに給電する電源をディスエーブルするように電源インターロック回路が働く。開連するバス内の他のマグネット又は電源は影響を受けない。

障害は、アクセス違反が除去され且つコンピュータXはローカルリセットによってラッチがクリアされるまで、ラッチされる。DSC内には5つまでの流量センサスイッチの入力に対して供給があり、さらに重複して安全性を確保できる。流量障害は、影響のあるバスについてはビット安全違反と同様のロジック効果を有する。

E. 信頼性の必要性

DSC設計のさらに好ましい態様は、フェイルセーフ機能、テスト機能、及び全状態の報告機能を有している。すべてのDSC入出力回路はフェイルセーフで設計されている。これは通信線の1カ所の障害であってもDSCによって検出されずにエラー状況が進行することはないということを意味する。有線通信システムにおけるエラーもとも起こりやすい障害には、通常、コネクタが含まなくなったり、異常ストレスによる線路故障や、挿入媒体の切断又は腐蝕によるショート、コネクタピンの腐食等、物理システム自体の機械的劣化がある。予防的安全ガードは、信号が欠落すると自動的にエラー状況をDSCに示すように設計された断線及びエラー報告信号を有している。図8に示されているように、フェイルセーフ通信リンクの戦略的な機能表示は、ゲート動作を有しており、データ信号は相補ロジックによってゲートされる。デジタルデータ信号

200は、相補的なユニティゲート202及び204に並列に供給される。ユニティゲート202のアウトプット201は、インプットデータ200に等しい。ユニティゲートコンプリメント204は、入力信号200に対して補集合となる信号203を発生させる。信号201及び203は排他的論理和ゲートのようなロジックゲート210に供給される。ロジックゲート210はリンク状態信号205を発生させる。リンク状態205がハイであれば、リンクは使用できるようになり、リンク状態205がローであれば、リンクは障害を有する。上述のコンプリメントリ冗長ロジックは、温度スイッチ、電流及び電圧センサのような単一通信リンク等、種々のミス感知信号配置に適用することができ、これにより通信を冗長にさせることができる。この手法は、バス選択、マルチバス若しくは冗長たバスの検出、オーバーヒートの検出、及び通信検出のような自己診断装置において作動する他の相補的信号を発生させるために使用することもできる。図8に示されているようなコンプリメントリ冗長ロジックの実行及び使用により、潜在的な単一通信ミスを回避できる。それらは、また種々の機能レベルで冗長な自己診断機能をもたらし、コスト的に有利な方法でシステムの信頼性を向上する。

上述のコンプリメントリ冗長機能特性は、好適にはフォルトクリティカルセンサリンクの信頼性を高めるために適用することができる。例えば、電圧及び熱センサリンクのような障害クリティカル信号にデュアルオペティカルアイソレータを採用する。図9に示されているように、センサ等により発生したデータ信号221は、識別信号223及びコンプリメント信号225を発生させる素子220及び222に送られる。信号223及びそのコンプリメント225はデータリンク224に送られる。インプット信号223及び225は好ましくはデータリンクの出力が反対の極性となるようにしてデータリンク224に別々に接続される。このため、1の出力がハイ状態であれば、他の出力はロー状態になり、すべての入力の組み合わせに対して相補的な信号を発生する。データリンク224から出たコンプリメントリ信号227及び229はロジックゲート228に供給される。ロジックゲート228の出力信号235はリンク状態信号として働く。データ信号233及びコンプリメント231は、さらなる信頼性及び状態モニタリン

グのために真値及び補値の形態で実行される他のDSCオペレーションへ進む。

DSCアドレスラインのように“障害”状態（後述する）がない信号に特別なエラー検出回路が使用される。この

エラー検出回路が使用される。この

回路構成は、部分的または全面的な通信障害を検知及び報告することができる。さらに、ドモルガン等価パラレル回路がサーマルバスに使用される。これがない場合は電気部品品の1点障害が潜在的な致命的な状態を隠すことを妨げるシステムの冗長性が存在しなくなる。

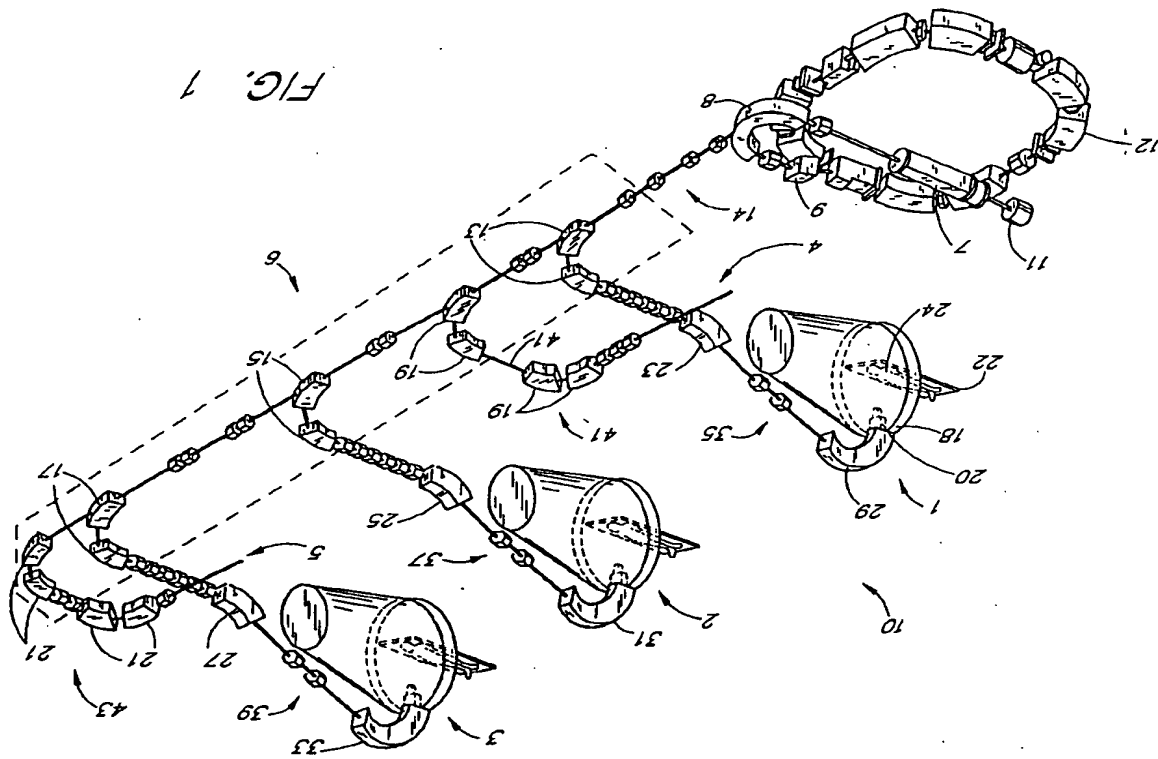
DSCのすべての入力回路は、コンピュータ制御のもとに自己診断するためにオープンされる通常のクローズドリレーコンタクトを少なくとも1つ備えている。自己診断ができることは、デバッグ処理において非常に価値があり、電源投入ルーチン及び日常又は使用前テストプログラムに組み込まれたときには、セーフティクリティカルボードの信頼性を確立する点において重要な長所となる。この目的のために、好ましくは、将来の拡張のために用意される追加リレーと共に、30個の4重極ダブルスローリレーが使用される。DSCボードに対するすべての入力力は状態ビットとしてホストコンピュータに利用できる。本実施形態においては、全部で140ビットの状態情報が利用できる。これらのビットの内8ビットは主要な障害を示し、連続的に利用できる。2次の状態を示す残りの132ビットは、ホストの制御下で8ビットごとに1バイトとして多重化される。将来の拡張のために別の数ビットが用意されている。すべてのエラー情報はDS

Cでラッチされ、オペレータ又は中央コンピュータの障害分析プログラムによるチェックのためにホールドされる。状態の部分集合は発光ダイオード(LED)によってDSCのフロントパネル上に表示される。

本発明は、その思想及び本質的特徴から離れない他の形態で実施することでもできる。上述の実施形態はすべての点において単に説明したものであり、本発明を制限するものではないと理解されたい。従って、本発明の思想は、上述の説明によってではなく、添付の請求の範囲によって示されるものである。請求の範囲と等価な意味及び範囲内においてなされるあらゆる変更は、本発明の思想に包含さ

れるべきものである。

【図1】



【図2】

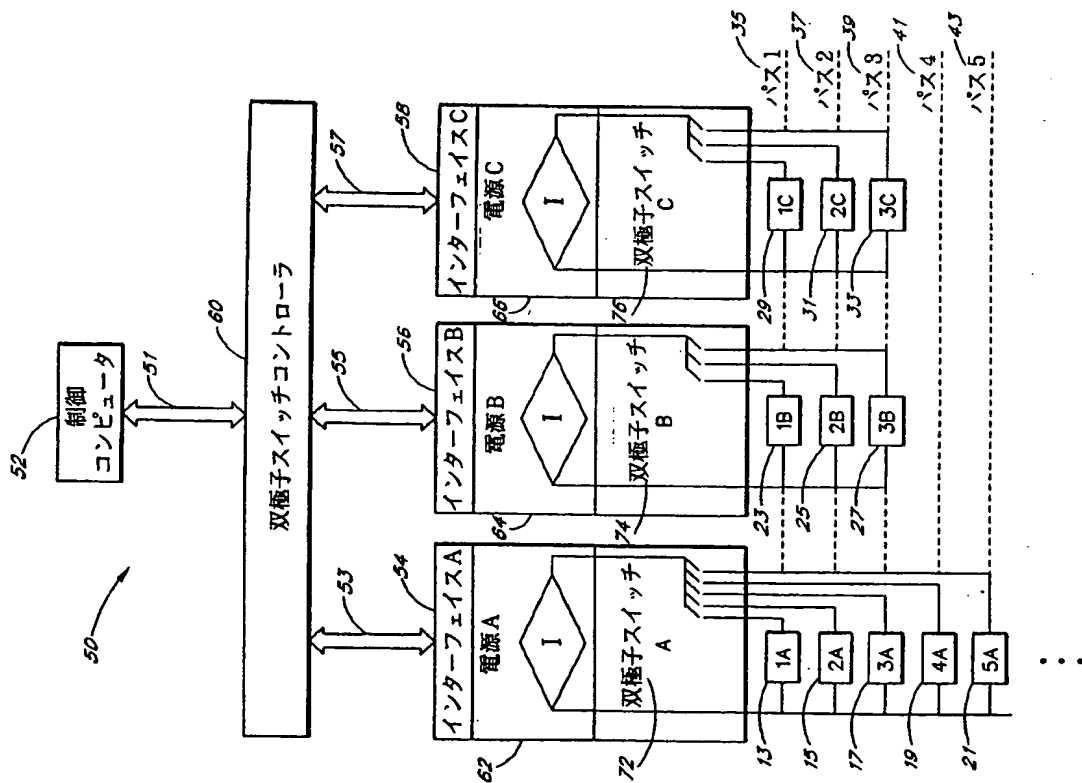


FIG. 2

【図3】

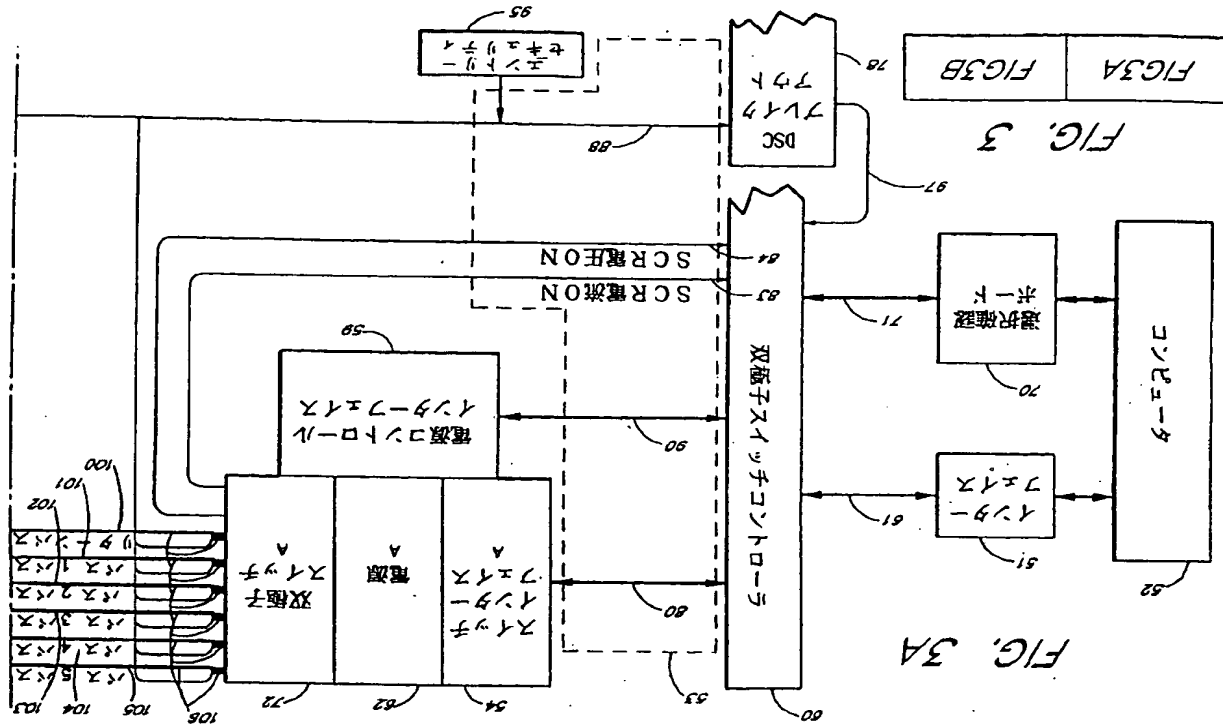


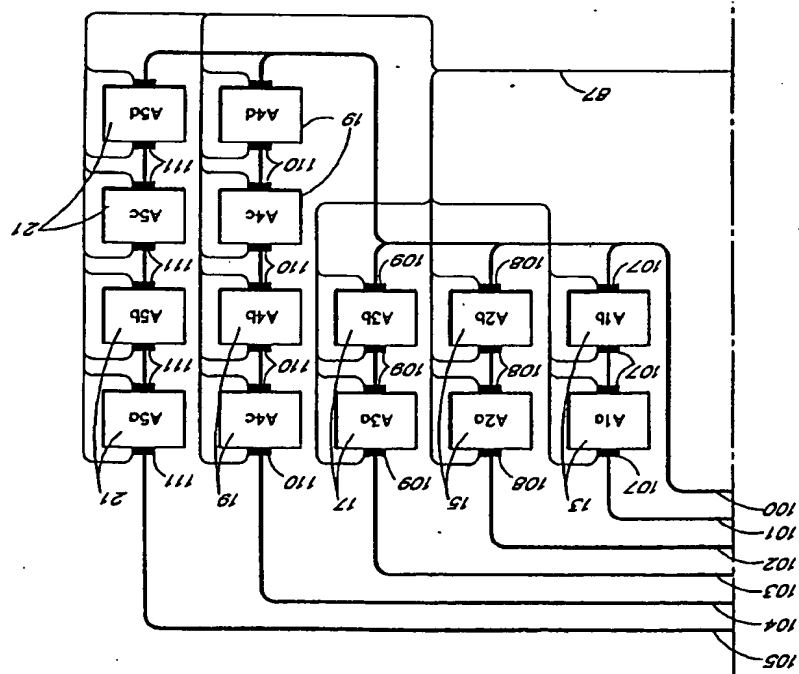
FIG. 3A

FIG. 3

FIG. 3A

FIG. 3B

【图3】



【图4】

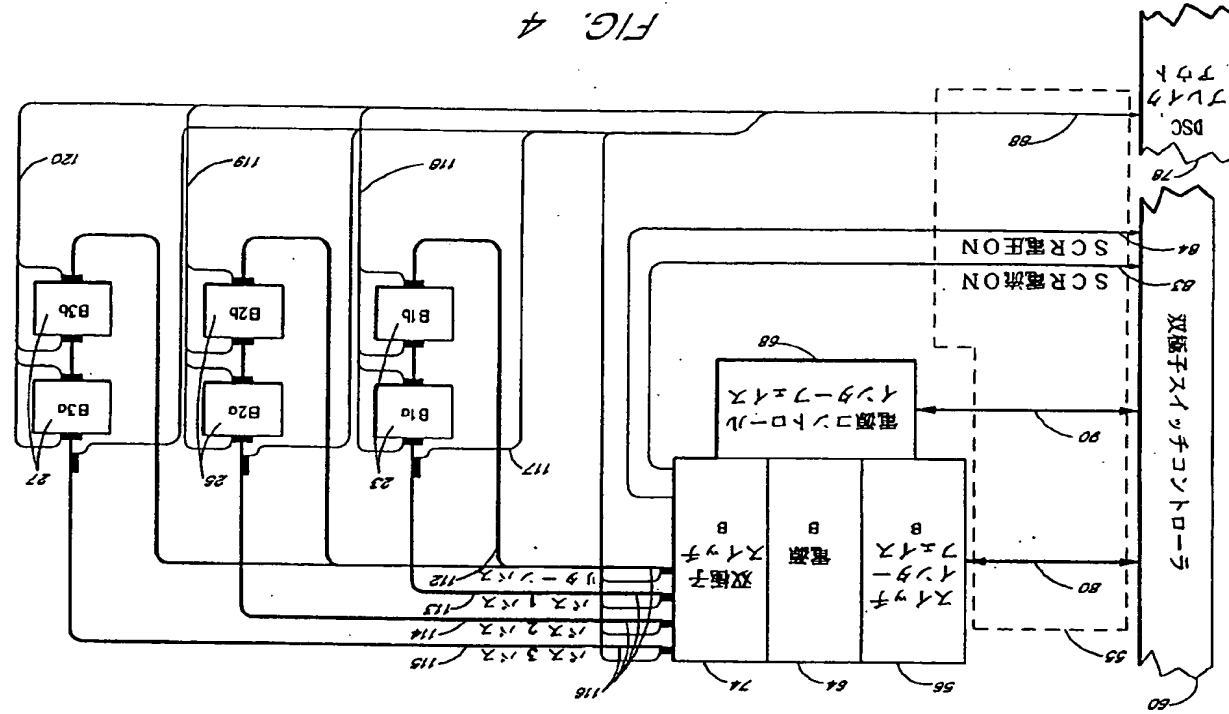


FIG. 4

【図 6】

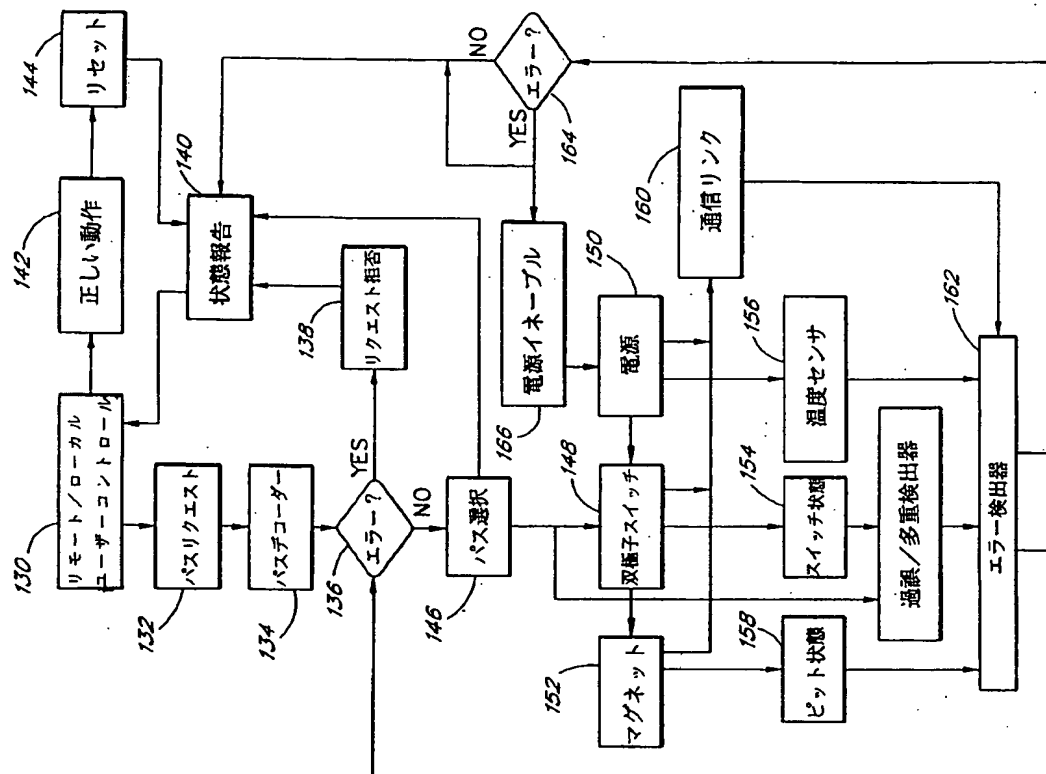


FIG. 6

【図 5】

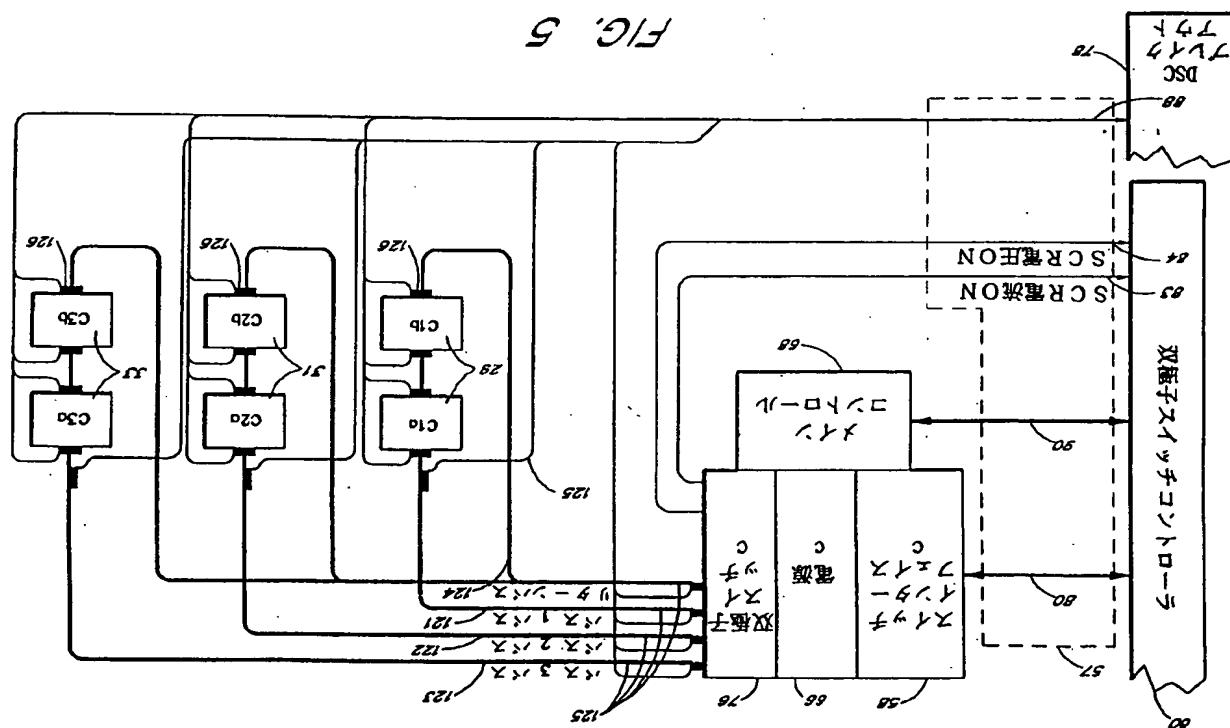


FIG. 5

【図7】

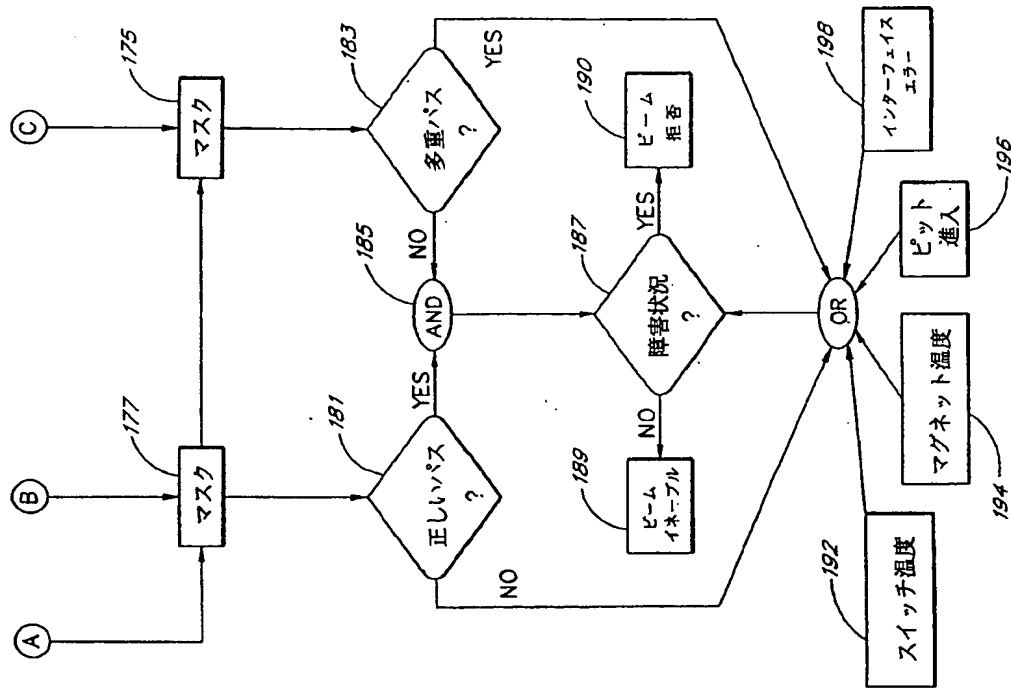


FIG. 7B

【図7】

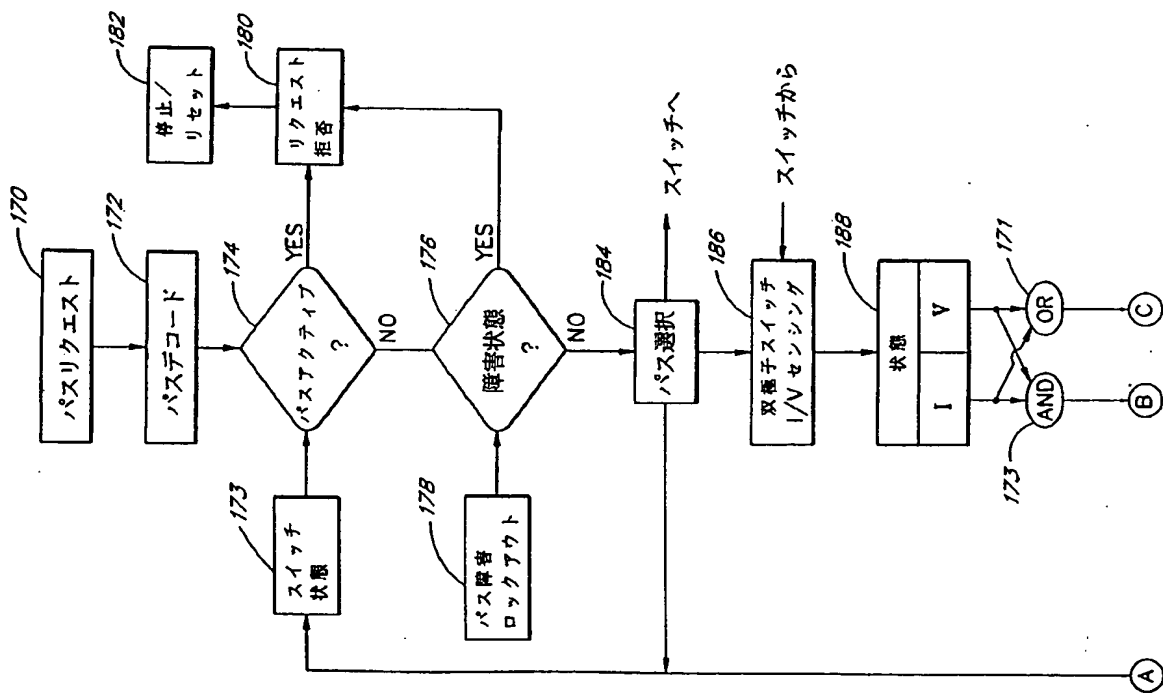


FIG. 7A

FIG. 9

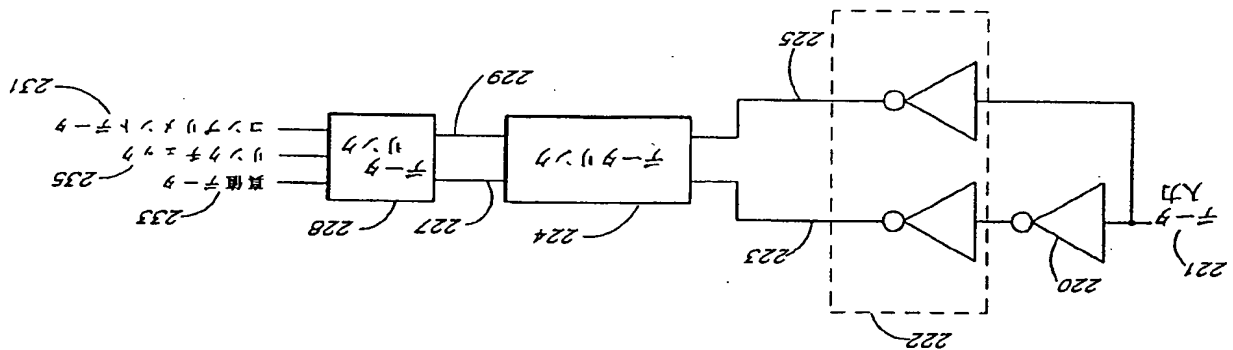
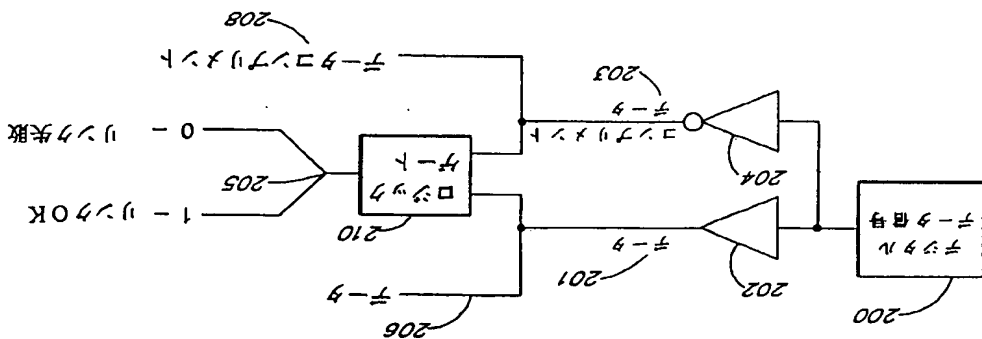


FIG. 8



【手続補正書】

【提出日】1998年1月6日

【補正内容】

請求の範囲

1. 放射線源と、複数の放射線治療室と、前記放射線源を前記複数の放射線治療室に接続する複数のバスとを備えている放射線ビーム治療システムのための放射線ビームセキュリティを提供する装置であって、

第1の状態及び第2の状態を有する複数のスイッチと、

該複数のスイッチの状態を示す信号を出力する複数のセンサと、

該複数のセンサからの信号を受信すると共に、所望のビームバスを示す信号を受信するスイッチコントローラとを備えており、

前記複数のスイッチは1又は2以上のスイッチからなる複数セットに分かれており、各スイッチセットは、1又は2以上のスイッチのうちのそれぞれが第1の状態にあるときには、前記放射線ビームを前記複数のバスのうちの1つに向け、

前記スイッチコントローラは、(i)所望のバスに対応する複数のスイッチからなる一組が第1の状態にあることを前記複数のセンサが示し、且つ、(ii)所望のバスに対応するスイッチセット以外のスイッチセットに含まれる複数のスイッチが第2の状態にあることを前記複数のセンサが示したときに、放射線ビームを所望のビームバスに切り替えて、前記放射線ビームを前記放射線治療室に伝送するようにされており、

前記スイッチコントローラは、所望のバスに沿ってビームが伝送されている間、前記複数のセンサからの信号をモニタし、前記スイッチコントローラは、所望のビームバスに対応するスイッチセット以外のスイッチセットに含まれる1又は2以上のスイッチが第1の状態にあることを、前記複数のセンサが示すときには、ビームの伝送を停止するようにされていることを特徴とする装置、

2. 前記スイッチコントローラは、所望のビームバスに対応するスイッチセットに含まれる1又は2以上のスイッチが第2の状態にあることを前記複数のセンサが示すときには、ビームの伝送を停止するようにされていることを特徴とする請求項1に記載の装置、

3. 前記放射線ビームは陽子放射線ビームで構成され、前記複数のスイッチは第

1の位置と第2の位置とを有するスイッチングマグネットからなり、スイッチングマグネットは第1の位置にあるときには前記複数のバスの内の1つに沿うように陽子ビームを送ることを特徴とする請求項1に記載の装置、

4. 前記装置は、更に複数のマグネットに対応する複数の双極子スイッチを備えており、該複数の双極子スイッチのそれぞれは、第1の位置と第2の位置を有しており、スイッチングマグネットに給電してスイッチングマグネットの第1の位置と第2の位置とを交換することを特徴とする請求項1に記載の装置、

5. 複数のセンサが前記複数の双極子スイッチの状態を検出することを特徴とする請求項4に記載の装置、

6. 前記複数の双極子スイッチはSCRスイッチからなることを特徴とする請求項5に記載の装置、

7. 前記装置は、更に治療室からのビームリクエスト信号を受信し且つ所望のビームバスを示すスイッチコントローラへ信号を出力する中央コンピュータを備えていることを特徴とする請求項1に記載の装置、

8. 前記中央コンピュータは、所望のビームバスを示すスイッチコントローラへ信号を出力する前に、ビームリクエスト信号がエラー状態であるかを判断することを特徴とする請求項7に記載の装置、

9. 前記中央コンピュータは、同時に2以上のビーム治療室に放射線ビームを向けるようになっている場合には、ビームリクエスト信号がエラー状態であると判別し、ビームリクエスト信号がエラー状態である場合には、前記中央コンピュータは、所望のバスを示すスイッチコントローラへ信号を送信しないことを特徴とする請求項7に記載の装置、

10. 前記複数のセンサのうちの1又は2以上のセンサは、オーバーヒート状態を判別するため、スイッチヤード及びビーム伝送システム内の電気負荷に耐える部分の温度も検出し、前記中央コンピュータは、電気負荷に耐える部分の温度

を検出するための前記センサから信号を受信し、オーバーヒート状態にある場合には、前記中央コンピュータがビームの伝送を拒否することを特徴とする請求項7に記載の装置。

11. 前記複数のセンサのうちの1又は2以上のセンサは、前記スイッチャード及びビーム伝送システム内の電気負荷に耐える部分が人間が接触している可能性を検出し、前記中央コンピュータは、人間が接触している可能性を検出する前記センサからの信号を受信し、人間が接触している場合には、前記中央コンピュータがビームの伝送を拒否することを特徴とする請求項10に記載の装置。

12. 放射線源と、複数の放射線ビーム治療室と、選択されたビームパスを介して放射線ビーム治療室の内の選択された1つに放射線を向けるための複数のビームパスからなる多重化されたスイッチャード及びビーム伝送システムとを備えている放射線ビーム治療システムにおいて、

(a) 選択された治療室からビームリクエスト信号を受信するステップと；
(b) 選択された治療室へのビームパスであって放射線ビーム用に選択されたビームパスを示すビームリクエスト信号からビームパス構成信号を導き出すステップと；
(c) 既選択されたビームパス構成信号に従ってスイッチャード及びビーム伝送システムの構成を選択するステップと；

(d) スイッチャード及びビーム伝送システムの構成を検出して、(i) スイッチャード及びビーム伝送システムの構成が、前記選択されたビームパスを介して、放射線ビームを前記選択された治療室に送る構成であること、及び(ii) スイッチャード及びビーム伝送システムの構成が、複数のビームパスのうちの選択されていないビームパスを介してビームが伝送されることがないような構成であることを確認するステップと；

(e) ステップ(d) において放射線ビームを前記選択された治療室に送るステップ

と；

(f) 放射線が、前記選択された治療室に伝送されている間、前記スイッチャー

ド及びビーム伝送システムの構成を検出するステップと；

(g) (i) 前記スイッチャード及びビーム伝送システムの構成が、前記複数のビームパスのうちの選択されていないビームパスを介して放射線ビームを伝送するような構成であること、又は(ii) 前記スイッチャード及びビーム伝送システムの構成が、前記選択された治療室にビームを伝送しない構成となっていること、のいずれかを検出したときには、前記選択された治療室へのビームの伝送を中断するステップとを備えていることを特徴とする放射線ビームセキュリティ方法。

13. 前記ステップ(d) が、

前記検出ステップからスイッチャード及びビーム伝送システム構成信号を引き出すステップと；

スイッチャード及びビーム伝送システム構成信号と前記ビームパス構成信号とを比較するステップと；

スイッチャード及びビーム伝送システム構成信号中に、ビームパス構成信号の全てのエレメントが含まれていることを確認するステップと、

前記選択されたビームパス構成信号中に、スイッチャード及びビーム伝送システム構成信号の全てのエレメントが含まれていることを確認するステップとを備えていることを特徴とする請求項12に記載の方法。

14. ステップ(d) の確認が行われていない場合には、ビームの伝送を拒否するステップを更に備えていることを特徴とする請求項13に記載の方法。

15. スイッチャード及びビーム伝送システム内の電気負荷に耐える部分の個度を検出して、オーバーヒート状態を判別し、

オーバーヒート状態である場合にはビームの伝送を拒否するステップを更に備えていることを特徴とする請求項12に記載の方法。

16. スイッチャード及びビーム伝送システム内の電気負荷に耐える部分に人間が接触している可能性を検出し、

人間が接触している場合には、ビームの伝送を拒否することを特徴とする請求項12に記載の方法。

17. 検出された情報を相補型ロジックの冗長通信パスで伝送し、

- 前記相補型ロジック冗長通信バスを比較して通信リンク障害を判別し、通信リンク障害がある場合には、ビームの伝送を拒否するステップを更に備えていることを特徴とする請求項12に記載の方法。
18. 選択されたビームバスの構成を、相補型ロジック冗長通信バスによって伝送し、
- スイッチャード及びビーム伝送システムの構成を、相補型ロジック冗長通信バスによって伝送し、
- それぞれの相補型ロジック冗長通信バスを比較して、通信リンク障害を判別し、
- 通信リンク障害がある場合には、ビームの伝送を拒否するステップを更に備えていることを特徴とする請求項17に記載の方法。
19. 前記相補型ロジック冗長通信バスの各々において、スイッチャード及びビーム伝送システム構成信号と選択されたバスの構成信号とを比較してビームバスイラーを判別し、
- ビームバスイラーがある場合には、ビームの伝送を拒否することを特徴とする請求項18に記載の方法。
20. スwitchャード及びビーム伝送システムの構成を選択するステップは、治療ビームを複数のバスに付与するためのスイッチ群のうち選択された一組を、前記ビームリクエスト信号に対応して第1の状態にするステップを備えており、これにより、前記治療ビームが、複数のバスのうちの選択されたバスを通じて選択されたビーム治療室へ向けられることを特徴とする請求項12に記載の方法。
21. スwitchャード及びビーム伝送システムの構成を検出するステップは、複数のスイッチ群のうち選択された一組が第1の状態にあることを確認するステップと、
- 選択された一組に属するスイッチ以外のスイッチが、前記複数のバスの1つにビームを向けるものでないことを確認するステップとを備えていることを特徴とする請求項20に記載の方法。
22. 選択された一組に属するスイッチ以外のスイッチの状態を検出する前記

ステップは、選択された一組に属するスイッチ以外のスイッチが第1の状態にあるかどうかを検出するものであり、

前記中断ステップは、選択された一組に属するスイッチ以外のスイッチの1又は2以上が第1の状態にあることが検出されると、ビームの伝送を中断するものであることを特徴とする請求項21に記載の方法。

フロントページの続き

- (72)発明者 レシーナ デイヴィッド エー、
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
92373 レッドランド ミルズ アベニュー
ー 1310
(72)発明者 スラター ジョン ダウリユ、
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
92373 レッドランド エス、グローブ
アベニュー 945